

《甲醇制氢生产过程装备仿真设计》实验指导书

一、实验简介

针对化工生产过程连续、设备密封、生产装置复杂、生产条件苛刻、生产操作中危险性较高的特点，为解决化工相关专业毕业生实践操控和设计能力薄弱的问题，设立甲醇制氢生产过程装备仿真设计实验项目。利用先进的仿真技术生动再现复杂的化工生产过程流程、化工装备的布置和典型过程设备拆装。实验需要学生在线系统登录，完成模块化学学习。首先在知识点学习模块，学生可以学习甲醇制氢生产过程中的基本知识；在充分掌握工艺知识点后，进入仿真资源模块：其中包括四项独立的实验，工艺设计实验需要学生完成甲醇制氢工艺路线的设计和连接；成套装置设计中需要学生可以通过键盘和鼠标的配合来完成生产过程装备的搭建，包括生产设备的布局和管路的连接；另外，还包括塔设备和离心泵的两个拆装仿真，学生可以进一步掌握和熟悉典型过程装备的结构、功能和工作原理等。本实验采用体验式、交互式、混合式的教学，在无任何危险的虚拟场景中，完成工程实践和设计能力的培养。学生通过本实验，不仅可以学习工艺和设备的基本知识，而且可以提高解决复杂工程问题的能力，根据系统评分结果评价学生学习效果和实践能力强弱，对基于 Aspen 的化工设计和后续的化工实训课程起到承前启后的作用。

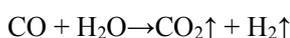
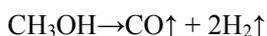
二、实验目的

通过本实验，达到以下目的：

- (1) 熟悉生产工艺设计的基本原理和流程；
- (2) 掌握典型过程装备的结构与功能；
- (3) 掌握工艺流程设计和设备布置方法；
- (4) 掌握压力管道的设计和组装方法。

三、实验原理和知识点

本实验选用甲醇制氢生产工艺过程的反应温度 280℃，反应压力为 1.5 MPa，醇水投料比 1:1.5(mol)。甲醇蒸气转化反应方程式为：



本甲醇催化制氢生产过程分为：原料汽化、催化转化反应、转化气冷却冷凝和洗涤净化。

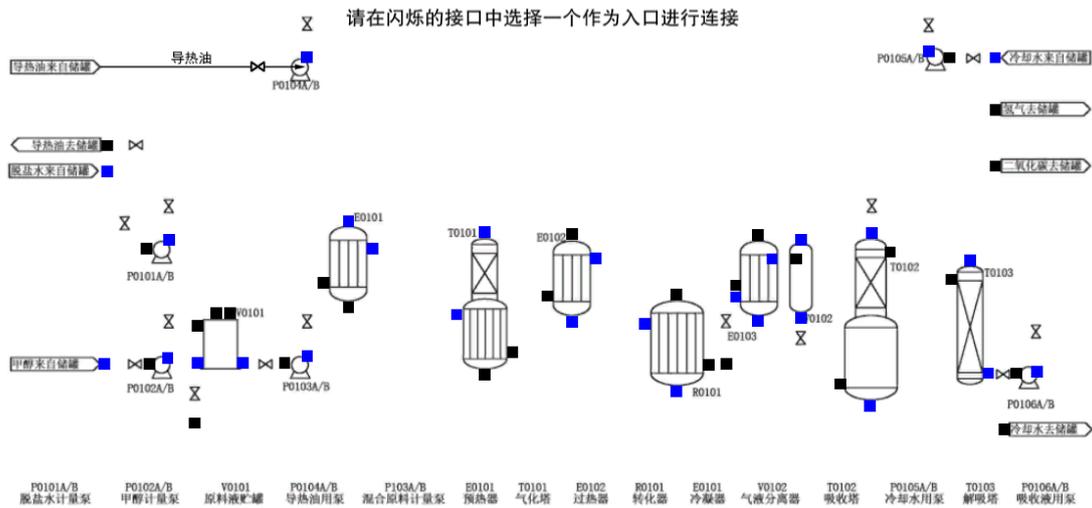
原料汽化：是指将甲醇和脱盐水按规定比例计量混合后，用泵加压送入系统进行预热、汽化过热至转化温度的过程。

催化转化反应：在规定温度和压力下，原料混合器在转化器中进行催化裂解和催化转化，得到主要含有氢气和二氧化碳的转化气。

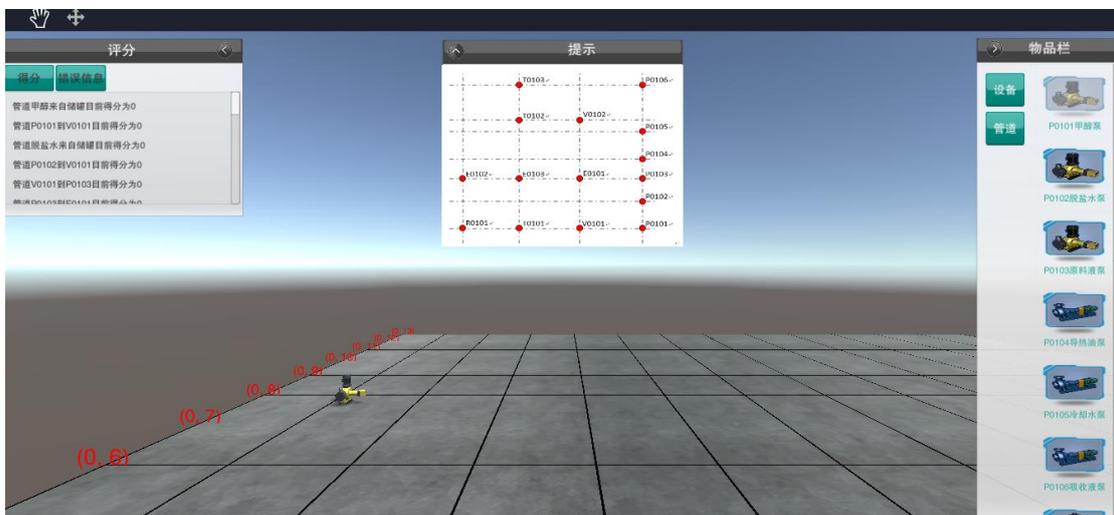
转化气冷却冷凝：将转化器下部出来的高温转化气经冷却、冷凝，送至气液分离器，将未反应的甲醇、水冷凝下来。

洗涤净化：经冷却冷凝后，含有氢气、二氧化碳以及少量一氧化碳、甲醇和水的低温转化气，进入吸收塔用吸收液洗涤回收未反应的甲醇和水，产品氢气和解析塔出来的解析气二氧化碳分别送至储罐。

甲醇制氢生产过程装备仿真设计按照实际设计、制造、安装流程，构建二维、三维实景仿真实验平台和典型过程装备拆装平台（图1）。



(a) 工艺设计二维仿真



(b) 成套装置设计三维仿真



(C) 典型过程装备拆装

图 1 甲醇制氢生产过程装备仿真设计平台

(1) 工艺设计训练

学生首先从知识点学习模块熟悉和了解该工艺原理、工艺设备和相关知识后，进入工艺设计实验模块，平台预置甲醇制氢过程工业的工艺流程，学生学习该流程后选择进行测试，系统将隐藏各设备之间的连线，学生通过选择相关设备的接口，连接工艺线路。以此考察学生对工艺原理、设备功能的了解以及介质运行路线和工艺的熟悉程度。

(2) 成套装置设计训练

根据石化企业中动力设备、反应器、塔器、管道等布置要求，需要学生考虑是否满足工艺流程要求、是否符合经济性原则、是否符合安全生产要求，是否便于安装和维修、是否有良好的操作条件等条件，确定各台设备的空间相对关系、间距。根据设备接口位置和尺寸，确定管路的空间走向。

学生通过选择、拖动等操作，将所有泵、单体设备进行空间布局。预设的布局方式经过优化，如果学生的布局方案与预设不一致，可进行修改。以此考察学生动、静设备布置方式的掌握程度，培养学生的全局意识。设备布置完成后，将预置的各条管线连接到相关设备的接管上。由于设备最优位置是确定的，因此预置的管线（已设计好）型式与预置的设备布局方案是匹配的。学生选择一根管线，将其中一个端点与设备上的目标端点相连即可。学生在拖动管线过程中，可以了解管线的空间走向，为线下的管线空视图绘制提供指导。

(3) 典型装备拆装训练

为充分提高学生的识图能力，熟悉和掌握典型过程装备的结构和工作原理等，目前，本甲醇制氢生产过程装备仿真设计平台还开发了工艺过程中涉及的动设备--离心泵和静设备--CO₂板式塔的拆装实验。学生在选定一种装备后，可以学习其功能和工作原理，直观地观察到设备的结构，学生通过鼠标的选择、拖动等操作完成整台设备的拆装实验，帮助学生深入了解设备的功能及其实现方式，也可作为线下学生进行设备设计的参考。

四、实验软件

甲醇制氢生产过程装备仿真设计软件包括4个模块，即知识点学习、工艺流程设计、设备布局、管路连接和典型过程设备拆装。工艺流程设计、设备布局和管路连接模块包括认知、测试、操作、评分等环节。仿真设计模块的主要性能列于表1中。

表1 仿真设计模块的主要性能

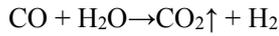
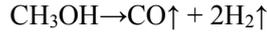
功能	性能描述
运行环境	运行环境为 WIN7 系统，其中主体实验部分，即 2D 和 3D 模式采用网页版模式，无需插件。利用谷歌、火狐、或 360（极速模式）等浏览器，输入网址进行注册即可使用。拆装实验部分需要按页面操作说明安装插件。
软件界面	根据功能要求，采用 2D 和 3D 模式进行实现，2D 模式画面简洁，3D 模式场景逼真。在 2D 场景中进行工艺学习和测试；在 3D 场景中练习成套装置的设计；同时还可以通过典型设备拆装，进一步掌握和熟悉典型化工设备的结构组成、内部构造和工作原理等。
工艺设计	在正确选择匹配的进出口时，可显示工艺连线。
设备布局	将甲醇制氢工艺流程的所有设备在三维场景中布局。单体设备列于屏幕右侧，可以用鼠标拖动某一单体设备到虚拟三维环境的某个位置，当模型接近于目标位置时，目标位置处有提示。
管路连接	通过拖动的方式将管路拖入场景中，并与对应的设备进出口进行连接。当匹配管口接近时，系统会有提示。
教 学	采用体验式、交互式、混合式的教学，实验项目来自真实甲醇制氢工艺流程。
练 习	人性化的操作方式，简便、快捷、明了，有充分的提示引导信息。
考 核	工程流程设计、成套装置设计均分别评分。对每一步操作的正确性进行自动记录、计分，并输出考核记录单，实验结束后提交实验报告。
辅助功能	在线注册：用户可以用学生和教师身份进行注册。采用开放式注册的方式，校内人员可根据自己的学号工号等自行注册，校外人员同样可以根据工作单位进行注册。

五、实验预设参数

本实验的虚拟仿真系统预设参数包括：

(1) 工艺流程

工艺流程以 1100 Nm³/h 甲醇制氢工艺流程为按例(图 2)。甲醇蒸气转化反应方程式为：



CH₃OH 分解为 CO，转化率 99%，CO 变换转化率 99%，反应温度 280℃，反应压力为 1.5 MPa，醇水投料比 1:1.5(mol)。

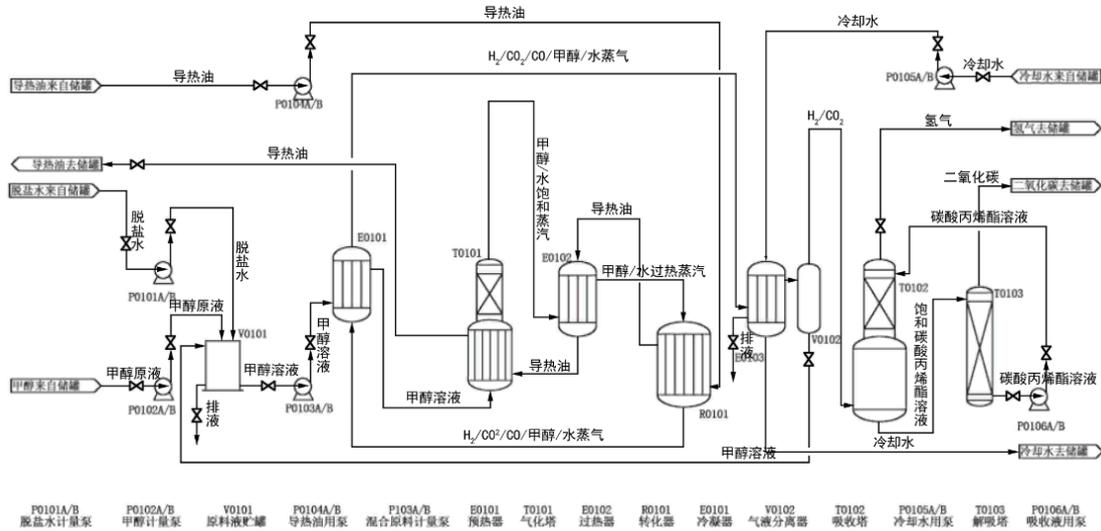


图 2 甲醇制氢工艺流程

工艺流程中的主要管线号及其连接部位、介质列于表 2 中。

表 2 甲醇制氢工艺流程的管线

管线号	出、进口	介质
DNW0102-250L1B	P0101(B)→V0101(B)	脱盐水
PL0102-200L1B	P0102(B)→V0101(A)	甲醇
PL0104-35M1B	P0103(B)→E0101(b)	液态甲醇
R0102-200L1B-H	P0104(B)→R0101(d)	导热油
CWS0102-200L1B	P0105(B)→E0103(a)	冷却水
PL0106-100L1B	P0106(B)→T0102(b)	解析后的吸收液
PL0103-40L1B	V0101(c)→P0103(A)	液态甲醇
PL0105-25M1B-H	E0101(a)→T0101(d)	已预热的液态甲醇
PG0104-200M1B-H	E0101(c)→E0103(b)	反应器中的反应产物 (H ₂ 、CO)
PG0101-200M1B-H	T0101(c)→E0102(b)	甲醇气体
PG0102-200M1B-H	E0102(c)→R0101(a)	充分过热的甲醇气体
R0104-200L1B-H	E0102(d)→T0101(b)	导热油
R0103-200L1B-H	R0101(b)→E0102(a)	导热油
PG0103-200M1B-H	R0101(c)→E0101(d)	未充分反应的甲醇和反应产物 (H ₂ 、CO)
PG0106-200M1B-H	E0103(c)→V0102(a)	气液混合物
PG0105-100M1B	V0102(b)→T0102(a)	混合气体 (H ₂ 、CO)
PL0108-100L1B	V0102(c)→V0101(e)	未充分反应的甲醇
PL0107-80L1B	T0102(d)→T0103(b)	吸收液 (CO)
PL0108-80L1B	T0103(a)→P0106(A)	解析后的吸收液
R0105-200L1B-H	T0101(a)→某储罐	导热油

管线号	出、进口	介质
CWR0101-200L1B	E0103(d)→某储罐	冷却水
PG0107-80L1E	T0103(c)→某储罐	CO ₂
PG0106-100M1B	T0102(c)→某储罐	氢气
RO0101-200L1B-H	某储罐→P0104(A)	导热油
DNW0101-300L1B	某储罐→P0101(B)	脱盐水
PL0101-250L1B	某储罐→P0102(B)	甲醇
CWS0101-250L1B	某储罐→P0101(A)	冷却水

(2) 单体设备模型

单体设备的模型如图 3-11 所示。各装置的功能可参考表 2 所列管线中的介质得知。例如，E0101 预热器的功能是用高温导热油将液态甲醇进行预热；P0105 泵是将冷却水泵入 E01033 冷凝器。



图 3 E0101 预热器



图 4 E0102 过热器



图 5 E0103 冷凝器



图 6 T0101 汽提塔



图 7 T0102 吸收塔



图 8 T0103 解析塔



图 9 V0101 储罐



图 10 V0102 气液分离器



图 11 R0101 反应器

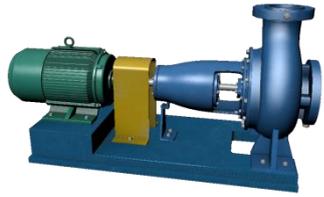


图 12 P0101~P0103、P0106 介质泵



图 13 P0104 导热油泵 (P0105 冷却水泵)

(3) 设备布置方案

如图 14 所示，整套装置布置在一个矩形区域内，动力设备（泵）布置在右侧区域，其它设备按照与动力设备的关系，成行、成列布置在左侧区域。为了到达训练目的，预置的三维装置模型布局与图 14 所示的布局方式进行了左右交换。

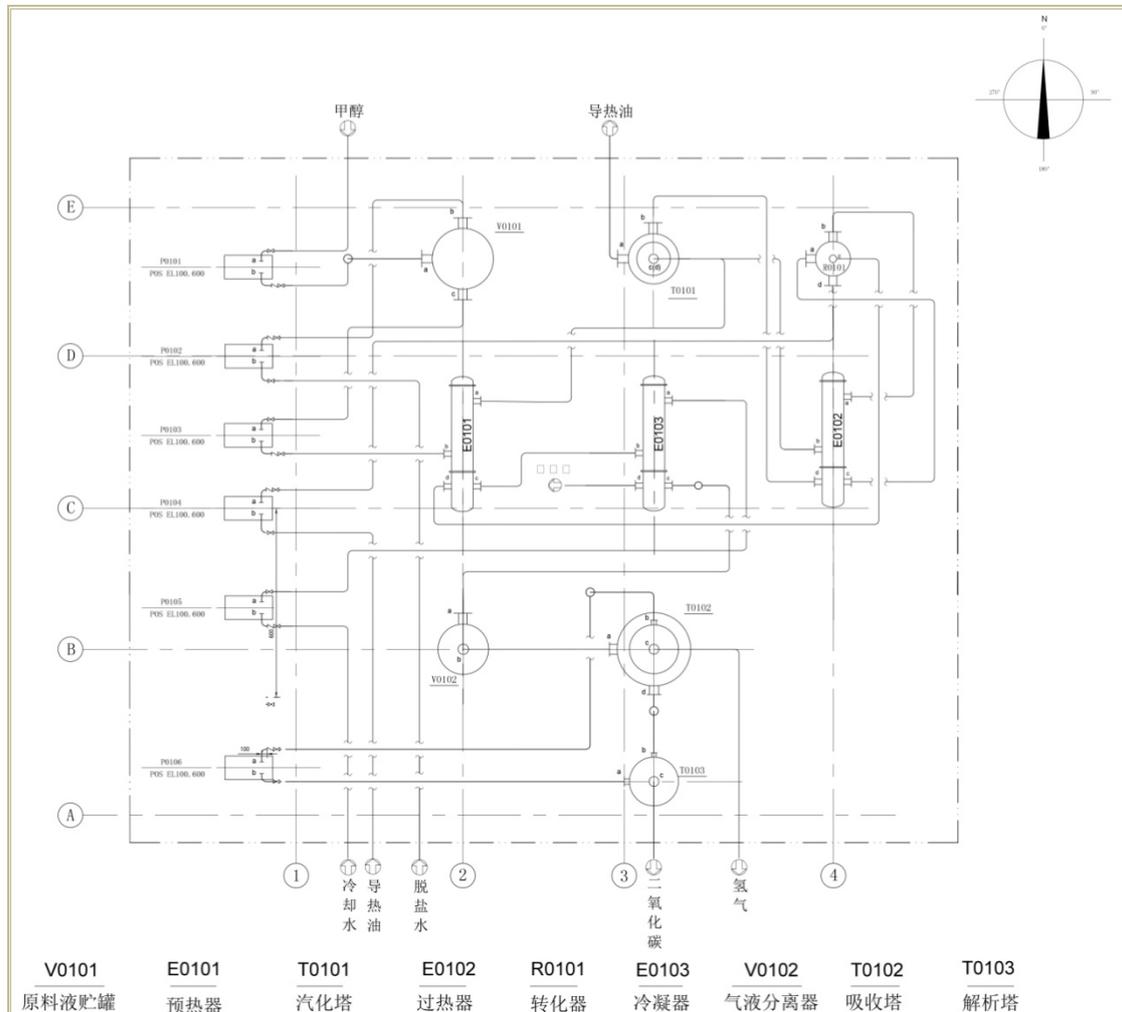


图 14 甲醇制氢设备布局

(4) 管路

预置的管线设计遵循以下原则，即所有管线均平行于坐标轴，两个接口之间的管线一方面要尽量缩短长度，一方面要减小管道应力（加弯头），管线不能交叉等等。图 15 为 27 个管路模型中的 4 个示例。

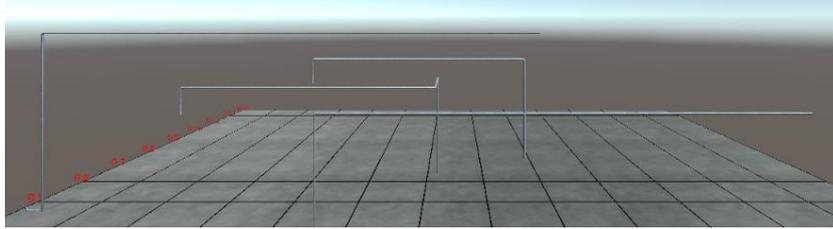


图 15 管路模型

六、实验步骤

学生经过甲醇制氢工艺知识点学习、工艺流程学习、设备结构拆装、设备与管道布置学习后，完成以下实验步骤。

➤ 在工艺流程设计二维界面（图 1（a））上：

- ①完成与原料液储罐 V0101 相关的流程路线设计；
- ②完成与预热器 E0101 相关的流程路线设计；
- ③完成与汽化塔 T0101 相关的流程路线设计；
- ④完成与过热器 E0102 相关的流程路线设计；
- ⑤完成与转化器 R0101 相关的流程路线设计；
- ⑥完成与冷凝器 E0103 相关的流程路线设计；
- ⑦完成与气液分离器 V0102 相关的流程路线设计；
- ⑧完成与吸收塔 T0102 相关的流程路线设计；
- ⑨完成与解析塔 T0103 相关的流程路线设计。

整个工艺包含 27 根线路，此处需要 27 步操作。工艺连线操作不分先后，即可以从任意一个端口开始连接，只要连接正确即可。工艺连线操作方法如图 16 所示。

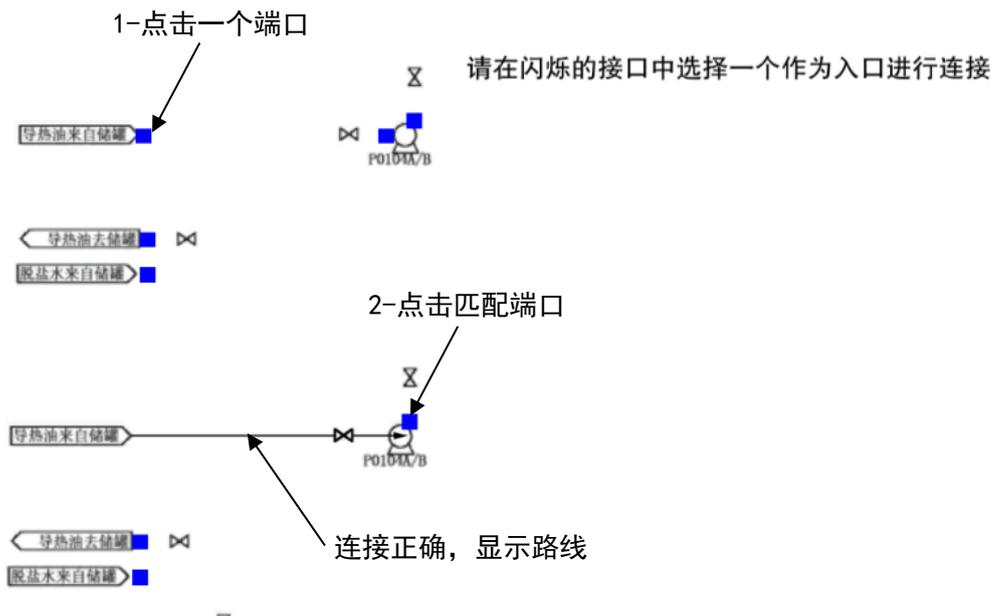


图 16 工艺连线操作方法

➤ 在设备空间布局三维界面（图 1（b））上：按照图 17 所示的相对位置进行以下操作：

- 步骤 1：选择泵 P0101 模型并拖动至右下角某一位置（定位参考点）；
- 步骤 2：选择原料液储罐 V0101 模型，并将其布置在泵 P0101 右侧且与之在同一水平线上；
- 步骤 3：选择汽化塔 T0101 模型，并将其布置在原料液储罐 V0101 右侧且与之在同一水平线上；
- 步骤 4：选择反应器 R0101 模型，并将其布置在汽化塔 T0101 右侧且与之在同一水平线上；
- 步骤 5：选择预热器 E0101 模型，并将其布置在原料液储罐 V0101 正上方；
- 步骤 6：选择气液分离器 V0102 模型，并将其布置在预热器 E0101 正上方；
- 步骤 7：选择冷凝器 E0103 模型，并将其布置在汽化塔 T0101 正上方；
- 步骤 8：选择吸收塔 T0102 模型，并将其布置在冷凝器 E0103 正上方；
- 步骤 9：选择解析塔 T0103 模型，并将其布置在吸收塔 T0102 正上方；
- 步骤 10：选择过热器 E0102 模型，并将其布置在吸收塔 T0102 正上方；
- 步骤 11：选择泵 P0103 模型，并将其布置在泵 P0101 正上方且与预热器 E0101 在同一水平线上；
- 步骤 12：选择泵 P0102 模型，并将其布置在泵 P0101 和泵 P0103 的中间位置；
- 步骤 13：选择泵 P0104 模型，并将其布置在泵 P0103 正上方；

步骤 14: 选择泵 P0105 模型, 并将其布置在泵 P0104 正上方。要求泵 P0104 和泵 P0105 在垂直方向上介于预热器 E0101 和气液分离器 V0102 之间;

步骤 15: 选择泵 P0106 模型, 并将其布置在泵 P0105 正上方且与解析塔 T0103 在同一水平线上。

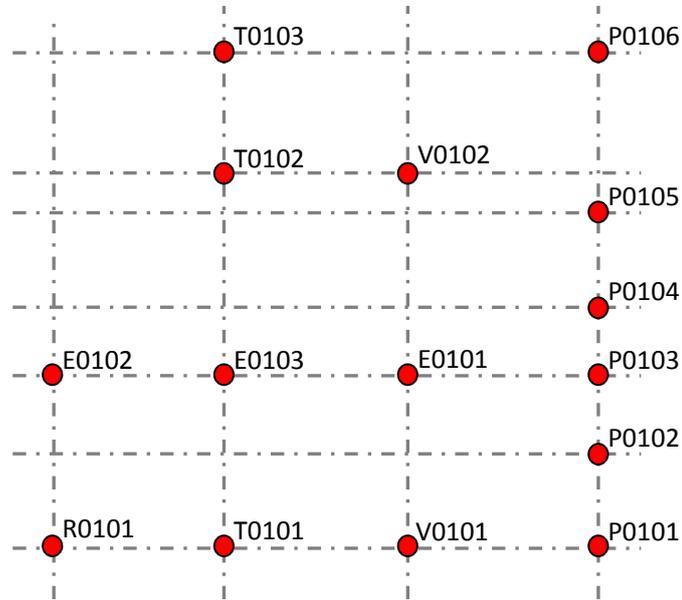


图 17 设备在水平面上的相对位置

设备布局作方法如图 18 所示。考虑到操作有一个从生疏到熟练的过程, 实际操作时, 系统允许布局操作从任一设备开始, 但最终的布局结果仍应满足图 17 所示的设备相对位置关系。

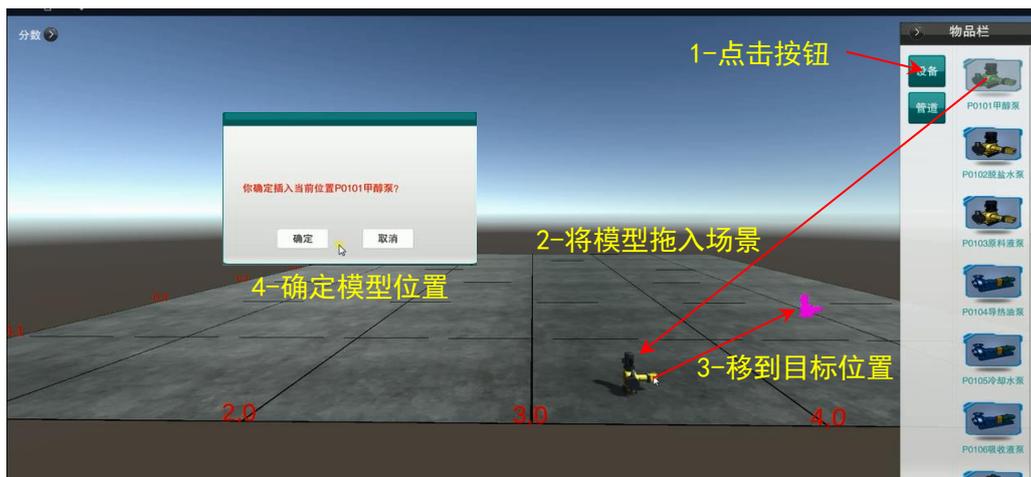


图 18 设备布局作方法

所有动、静设备布局完成后, 继续将 27 条管路连接到正确位置, 还需要 27 步操作。管路模型已经根据设备布局设计好, 将各个管路模型拖入场景中, 找到正确的设备接口, 将其

连上即可。管道连接过程中，可以不分先后。

操作时，鼠标配合键盘可将模型在三维场景中移动。键盘和鼠标用到的按钮及其功能如图 19 所示。

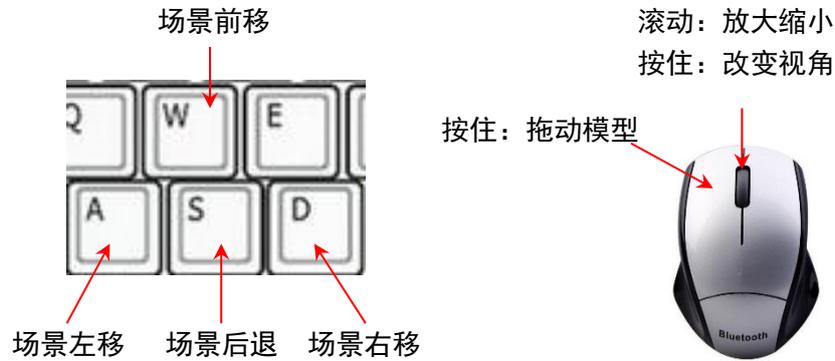


图 19 键盘和鼠标按钮的对应功能

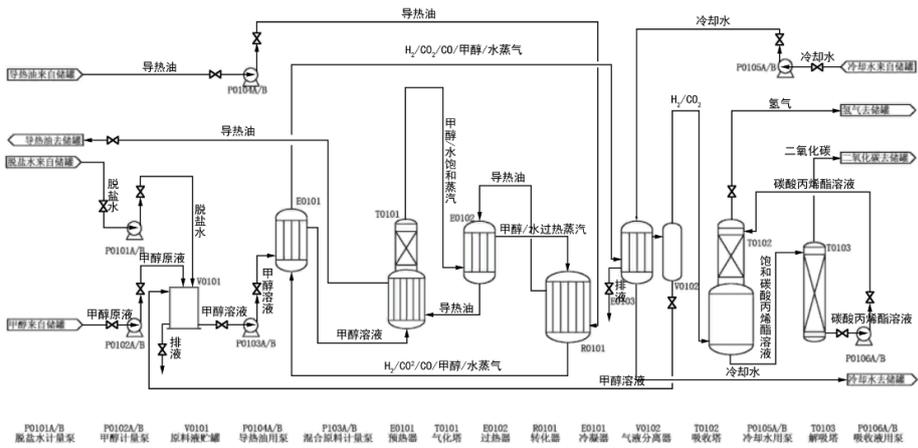
七、实验结果

在“工艺设计模块”，一次性正确连接一条管线，得 2 分，否则扣 2 分；在“成套设备设计”模块，将某一设备模型一次性正确定位得 2 分，否则扣 2 分。若某一设备未正确定位而继续拖入其它设备模型，前一次操作扣 2 分。

实验完成后，在学习记录中点击“实验报告”可查看实验结果，包括“操作记录”和“实验成绩”，填写“工艺流程概述”，点击提交“即可”。

《甲醇制氢生产过程装备仿真设计》实验报告			
姓名	曹丽琴	学号	XXXXXX
学校	燕山大学	实验日期	2018-09-05
实验目的	通过本实验，达到以下目的： (1) 熟悉生产工艺设计的基本原理和流程； (2) 掌握典型过程装备的结构与功能； (3) 掌握工艺流程设计和设备布置方法； (4) 掌握压力管道的设计和组装方法。		
工艺原理	实验为 1100 Nm ³ /h 甲醇制氢工艺流程，CH ₃ OH 分解为 CO，转化率 99%，CO 变换转化率 99%，反应温度 280℃，反应压力为 1.5 MPa，醇水投料比 1:1.5(mol)。甲醇蒸气转化反应方程式为： $\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CO} \uparrow + 2\text{H}_2 \uparrow$ $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow$		

	<p>本甲醇催化制氢生产过程分为：原料汽化、催化转化反应、转化气冷却冷凝和洗涤净化。</p> <p>原料汽化：是指将甲醇和脱盐水按规定比例计量混合后，用泵加压送入系统进行预热、汽化过热至转化温度的过程。</p> <p>催化转化反应：在规定温度和压力下，原料混合器在转化器中进行催化裂解和催化转化，得到主要含有氢气和二氧化碳的转化气。</p> <p>转化气冷却冷凝：将转化器下部出来的高温转化气经冷却、冷凝，送至气液分离器，将未反应的甲醇、水冷凝下来。</p> <p>洗涤净化：经冷却冷凝后，含有氢气、二氧化碳以及少量一氧化碳、甲醇和水的低温转化气，进入吸收塔用吸收液洗涤回收未反应的甲醇和水，产品氢气和解析塔出来的解析气二氧化碳分别送至储罐。</p>
<p>实验操作 及要求</p>	<p>(1) 工艺设计训练</p> <p>在知识点学习模块熟悉和了解该工艺原理、工艺设备和相关知识后，进入工艺设计实验模块，学习平台预置甲醇制氢过程工业的工艺流程，之后选择进行测试，系统将隐藏各设备之间的连线，学生通过选择相关设备的接口，连接工艺线路，考察学生对工艺原理、设备功能的了解以及介质运行路线和工艺的熟悉程度。</p> <p>(2) 成套装置设计训练</p> <p>根据石化企业中动力设备、反应器、塔器、管道等布置要求，考虑是否满足工艺流程要求、是否符合经济性原则、是否符合安全生产要求，是否便于安装和维修、是否有良好的操作条件等条件，确定各台设备的空间相对关系、间距。根据设备接口位置和尺寸，确定管路的空间走向。</p> <p>通过选择、拖动等操作，将所有泵、单体设备进行空间布局。预设的布局方式经过优化，如果布局方案与预设不一致，可进行修改。考察对动、静设备布置方式的掌握程度，培养学生的全局意识。设备布置完成后，将预置的各条管线连接到相关设备的接管上。由于设备最优位置是确定的，因此预置的管线（已设计好）型式与预置的设备布局方案是匹配的。选择一根管线，将其中一个端点与设备上的目标端点相连即可。在拖动管线过程中，了解管线的空间走向，为线下的管线空视图绘制提供指导。</p> <p>(3) 典型设备拆装训练</p> <p>本甲醇制氢生产过程装备仿真设计平台包括离心泵和 CO₂ 板式塔的拆装实验。学生在选定一种装备后，仔细学习设备的工作原理，观察设备的结构组成和内部结构，通过鼠标的选择、拖动等操作完成整台设备的拆装实验，深入了解设备的功能及其实现方式，也可作为线下学生进行设备设计的参考。</p>

<p>主要设备</p>	<p>E0101 预热器 T0101 汽化塔 V0101 储罐 P0101~P0103、P0106 介质泵</p>	<p>E0102 过热器 T0102 吸收塔 V0102 气液分离器 P0104 导热油泵 (P0105 冷却水泵)</p>	<p>E0103 冷凝器 T0103 解析塔 R0101 反应器</p>
<p>操作记录</p>	<p>2D 仿真: 3D 仿真:</p>		
<p>工艺流程概述</p>	<p>(根据工艺流程图, 并结合成套装置中各单元设备名称, 描述甲醇制氢的四个工艺步骤。)</p>  <p>图 20 系统输出的实验报告</p>		
<p>实验成绩</p>	<p></p>		